천연물질 Chrysophanic Acid의 포장조건 제초 활성

최정섭^{1*}, 장현우¹, 서보람¹, 황현진¹, 김재덕¹, 김진석¹, 전재철², 김성문³

Herbicidal Activity of Chrysophanic Acid in Semi-field Condition

Jung Sup Choi^{1*}, Hyun Woo Jang¹, Bo-Ram Seo¹, Hyun Jin Hwang¹, Jae Deog Kim¹
Jin-Seog Kim¹, Jae Chul Chun² and Songmun Kim³

ABSTRACT Herbicidal activity and characteristics of chrysophanic acid were investigated in semi-field condition. At early and middle post-emergence, *Trifolium repens* appeared to be very susceptible to chrysophanic acid of 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$. However, herbicidal activity of chrysophanic acid of 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ estimated by visual injury to *Artemisia princeps* was not caused considerable phytotoxicity. Also by foliar application, the concentration of chrysophanic acid for effectively control to *Polygonum aviculare* was much higher than 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Herbicidal activity of chrysophanic acid to *Echinochloa crus-galli*, *Cyperus difformis*, *Setaria viridis*, *Digitaria sanguinalis*, *Bidens tripartita* by foliar application was more effective at concentration ranges from 4,000 to 6,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$. These results suggest that chrysophanic acid demanded for higher than 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ to successful weed control in the field condition.

Key words: chrysophanic acid; impermeability; natural herbicide; semi-field condition; treatment dosage.

서 언

현대농업에서 가장 효과적인 잡초방제 수단은 저렴한 비용과 뛰어난 살초력을 갖는 유기합성 제초제

를 사용하는 것이지만, 환경과 인축에 대한 잠재적인 영향 때문에 OECD 국가에서는 이의 사용이 제한되고 있다. 또한, 유기합성 제초제의 연용에 따른 저항성잡초가 출현하게 되어(박 등 1999; 박 등 2003; Im

¹ 한국화학연구원 산업바이오화학연구센터, 305-600 대전광역시 유성구 신성로 19 유성우체국 사서함 107(Chemical Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, P.O. Box 107, Daejeon 305-600, Korea).

² 전북대학교 생물환경화학과, 561-756, 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14(Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea).

³ 강원대학교 바이오자원환경학과, 200-701, 강원도 춘천시 강원대학길 1(Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea).

* 연락저자(Corresponding author) : Phone) +82-42-860-7431, Fax) +82-42-861-4913, E-mail) jschoi@kricr.re.kr

(Received September 1, 2010; Examined September 17, 2010; Accepted October 22, 2010)

등 2009; Park 등 2009; Riches 등 1996) 이를 방제할 수 있는 새로운 작용기작을 갖는 제초제 개발이 요구되지만 1980년대에 triketone계 제초제가 개발된 이래 더 이상의 개발성고가 없는 실정이다(Prisbylla 등 1993; Schultz 등 1993; Secor 1994).

이러한 유기합성 제초제의 문제점을 해결할 수 있는 한 가지 방안으로 오랫동안 인류에게 유용하게 이용되었던 천연물에 대한 관심이 높아지고 있다. 다양한 종류의 천연물질을 직접 이용하거나 새로운 화학구조를 갖는 물질을 탐색하여 새로운 작용기작을 갖는 지표물질이나 합성물질의 기본골격으로 활용하고 있으며, 이러한 천연물 유래 물질에 대한 작물보호제로서의 타당성 검토가 활발히 이루어지고 있다(Copping과 Duke 2007).

천연물로부터 제초활성물질의 탐색 또는 개발은 토양 미생물과 식물을 대상으로 활발하게 이루어지고 있는데, 토양 미생물로부터의 제초활성물질 개발 사례로는 *Streptomyces hygroscopicus*가 분비하는 2차 대사산물을 직접 이용한 bialaphos를 들 수 있다(Bayer 등 1972; Duke 등 1996; Satoh 등 1993). 그리고 acetic acid(Young 2004; Webber 등 2005), clove oil(김 등 2008; Bainard와 Isman 2006; Copping과 Duke 2007), fatty acids(Malkomes 2006), pelargonic acid(Fukuda 등 2004; Lederer 등 2004), maize gluten(Liu와 Christians 1994), pine oil(Miller 2003) 등과 같은 식물에서 유래하는 다양한 천연 제초활성 물질도 보고되어 있다.

그러나 식물로부터 유래하는 천연 제초활성 물질 중에서 상용화에 성공한 경우는 극히 제한적인데, 그 주된 요인으로는 유기 합성 제초제에 비해 상대적으로 살초력이 낮기 때문에 실제 포장에 적용해서 효과를 얻기 위해서는 많은 양을 처리해야 하기 때문이다. 옥수수 낱알의 분쇄과정에서 발생하는 부산물을 이용한 'Maize gluten meal'의 경우에 북미에서 WeedBan™, Corn Weed Blocker™ 등의 여러 가지 상표명으로 토양처리제 또는 비료로 판매되었지만, 만족할 만한 효과를 얻기 위해서는 처리량이 헥타아르 당 2톤 이상 요구된다(Quarles 1999). 또한, 식물 추출물에서 유래하는 C₉ 지방산인 pelargonic acid는

경엽처리용 제초제로 개발되어 Scythe™라는 상표명으로 판매되고 있는데, 속효성이면서 광범위 잡초를 비선택적으로 방제하는 특징을 갖는다(Fukuda 등 2004). 그러나 pelargonic acid 역시 온실조건에서도 경엽처리의 처리량이 5~10kg ha⁻¹으로 매우 높은 편이다. 이와 같이 식물에서 유래하는 천연 제초활성 물질을 작물보호제로 이용하고자 할 때 합성 화학제초제에 비하여 상대적으로 높은 처리량이 요구되는 것은 천연물 유래 제초제의 근본적인 단점이며, 환경에 대하여 바람직하지 않은 결과를 초래하게 되는 장애요인이 될 수 있다. 따라서 온실 수준에서의 평가를 통해 살초활성이 확인된 식물 유래의 천연물질이라도 실제 포장조건에서의 적용 가능성을 신속히 판단하여야만 개발단계로의 진입 여부를 결정할 수 있을 것이다.

본 연구는 국내 자생식물인 애기수영(*Rumex acetosella* L.)으로부터 분리·동정되었고(김 등 2003), 온실조건에서의 살초력과 적용범위, 작물 선택성 등의 검토를 통해 천연 제초활성 물질로서의 가능성이 확인된(장 등 2010) chrysophanic acid에 대하여 간이 포장 조건에서의 잡초 방제력과 살초특성을 평가하여 실용화 가능성을 검토하고, 개발단계로의 진입 여부를 판단하는 기초자료로 활용하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험 화합물

Chrysophanic acid는 경동사이버 시장을 통해 분말형태의 추출물(유효성분 3%)을 구입하여 ethyl acetate로 추출(추출수율 12.7%), 감압건조 한 후 용해도를 증가시키는 유기용매와 2종의 전착제를 이용하여 3% 유제로 제형화하여 사용하였다.

포장조건에서의 살초활성 평가

포장시험은 2009년 7~10월에 한국화학연구원 부속농장(대전광역시 유성구 소재)과 강원대학교 부속농장(강원도 천전지 소재)에서 비교적 균일하게 잡초

가 자연발생 된 지점을 선정하여 수행하였다.

토끼풀에 대한 살초활성 검정

한국화학연구원 부속농장 주변에 자연발생 된 토끼풀(*Trifolium repens*) 군락지를 임의 선정하여 1m² 넓이로 시험처리구를 조성하였다. 이때 토끼풀은 생육정도에 따라 초기(초장 10cm 내외)와 중기(초장 20cm 내외)로 구분하고 3% chrysophanic acid 유제를 2,000, 1,000μg mL⁻¹ 농도로 조제하여 150mL씩 분무처리하였다. 약제처리 7일 후에 살초활성 정도를 외형적인 증상 및 약효를 약해 기준표에 의해 달관 조사(0%; 약효 전혀 없음, 100%; 완전방제) 하였다 (조 1998).

쑥에 대한 살초활성 검정

한국화학연구원 부속농장 주변에서 여러 종의 잡초가 혼재되어 있는 지점을 선정하여 쑥(*Artemisia princeps*)만을 남겨두고 다른 잡초들은 제거하여 1m² 넓이로 시험처리구를 조성하였다. 약제처리 당시 쑥의 생육정도는 45~50cm이었다. Chrysophanic acid 처리는 앞서 기술한 “토끼풀에 대한 살초활성 검정”과 동일한 방법으로 수행하였다.

마디풀에 대한 살초활성 검정

한국화학연구원 부속농장 주변 조성되어 있는 잔디(*Zoysia japonica*) 포장에 마디풀(*Polygonum aviculare*)이 자연발생 된 지점을 선정하여 1m² 넓이

로 시험처리구를 조성하여 “토끼풀에 대한 살초활성 검정”과 동일한 방법으로 chrysophanic acid를 처리하였다.

초종별 경엽처리 활성

강원대학교 부속농장에 강피(*Echinochloa crus-galli*), 강아지풀(*Setaria viridis*), 알방동사니(*Cyperus difformis*), 바랭이(*Digitaria sanguinalis*), 가막사리(*Bidens tripartita*) 등의 잡초가 비교적 동일하게 발생하고 있는 지점에 4개의 시험처리구(0.25m²)를 조성하고 chrysophanic acid를 2,000, 4,000, 6,000μg mL⁻¹를 분무처리하였다. 약제 처리 7일 후에 chrysophanic acid에 대한 살초력을 “토끼풀에 대한 살초활성 검정”에서 기술한 바와 같은 방법으로 달관 조사하였다.

결과 및 고찰

토끼풀에 대한 살초력

Chrysophanic acid 3% 유제 1,000μg mL⁻¹의 초기 및 중기처리에서 토끼풀 방제효과는 각각 70%와 50%였으며, 2,000μg mL⁻¹ 처리농도에서는 각각 95%와 90%이었다(표 1, 그림 1). 그리고 2,000μg mL⁻¹ 처리구에서는 약제처리 1주일 후에도 토끼풀의 재생 정도가 매우 빈약하였고, 2주일 이상 경과한 후에야 본격적으로 재생되었다.

Fig. 1. Herbicidal activity of chrysophanic acid with early post-emergence treatment on *T. repens* in semi-field condition. Photos were taken 7 days after application.

Table 1. Herbicidal activity of chrysophanic acid with early and middle emergence treatment on *Trifolium repens* in semi-field condition.

Concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Herbicidal activity(%) ¹⁾	
	Early post	Middle post
1,000	70	50
2,000	95	90

¹⁾ Herbicidal activity was determined 7 days after treatment by visual injury.

토끼풀은 광 차단에 의한 식물생장 억제로 큰 문제를 일으키는 위해성(noxious) 잡초이다. 특히 지하경을 통해 영양번식을 하여 뿌리가 매트화 되어 있고, 다년생 잡초로 해마다 발생하기 때문에(홍 등 2006) 더욱 방제가 어려운 형편이다. 토끼풀 방제수단으로는 식물전멸 제초제(글리포세트, 파라쿼트 등)를 이용할 수 있으나 살포시기에 제한이 있어 사용상 주의가 필요하다. 국민생활 수준의 향상으로 공원이나 골프장 등 여가와 운동에 대한 수요가 점점 증가됨에 따라 잔디밭을 포함한 녹지의 면적도 증가될 것이 예상되기 때문에 토끼풀을 방제할 수 있는 적절한 수단이 필요하다고 하겠다. 본 연구에서의 chrysophanic acid는 국내 자생식물인 애기수영으로부터 분리된 천연 살초활성물질로(김 등 2003) 환경에 대한 안전성

과 인축 독성이 상대적으로 낮을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 약제처리 후 확산성이나 침투성을 증가시킬 수 있는 제형을 개발하여 처리농도를 낮출 수 있는 기술을 개발할 수 있다면 야외 포장에서의 토끼풀 방제에 효과적인 방제수단이 될 수 있을 것이라 판단된다.

썩에 대한 살초력

Chrysophanic acid $1,000\mu\text{g mL}^{-1}$ 과 $2,000\mu\text{g mL}^{-1}$ 농도로 처리하여 썩에 대한 살초력을 평가한 결과 각각 10%와 40%로 낮았다(그림 2, 그림 3). 다년생잡초인 썩의 효과적인 방제를 위해서는 지상부의 양분

Fig. 2. Herbicidal activity of chrysophanic acid with foliar application on *A. princeps* in semi-field condition.

Fig. 3. Herbicidal activity of chrysophanic acid with foliar application on *A. princeps* in semi-field condition. Photos were taken 7 days after application.

이 지하로 이동하는 시기인 4~5월과 10월말에 흡수 이행성 경엽처리형 제초제를 이용하는 것이 바람직 한데, 본 실험은 9월 말경 영양생장이 왕성하게 이루어지는 시기에 처리되었을 뿐만 아니라, chrysophanic acid가 이행형이 아닌 접촉형 활성을 나타내는 활성물질이기 때문에(장 등 2010) 살초력이 매우 낮았던 것으로 판단된다.

마디풀에 대한 살초력

잔디밭에서 혼생하고 있는 마디풀에 대한 chrysophanic acid의 살초활성은 1,000 및 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리농도에서 각각 20%와 95%로 나타나(그림 4, 그림 5), 마디풀 방제를 위해서는 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이상의 농도가

Fig. 4. Herbicidal activity of chrysophanic acid with foliar application on *P. aviculare* in semi-field condition.

Fig. 5. Herbicidal activity of chrysophanic acid with foliar application on *P. aviculare* in semi-field condition. Photos were taken 7 days after application.

필요한 것으로 판단하였다.

마디풀은 마디풀과의 1년생 잡초로 밭이나 도로변, 밭둑 등에서 발생하며 환경에 대한 적응성이 매우 강한 잡초이다. 초장은 10~30cm 내외이며 6~7월에 꽃이 피는데, 최근에는 도시의 공한지나 골프장에 침입하여 문제시 되고 있다. 마디풀 방제는 주로 경엽처리형 비선택성 제초제를 이용하지만, 다시 재생되어 방제가 어려운 잡초로 알려져 있다. 마디풀 방제를 위한 chrysophanic acid의 처리농도는 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이상이 필요하지만, 이 농도에서는 잔디에 대한 약해도 발생되기 때문에 잔디밭에 적용하기 위해서는 약해 발생문제도 해결하면서 처리농도를 낮출 수 있는 적절한 제형개발 기술이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

초종별 경엽처리에 의한 살초력

Chrysophanic acid를 1,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 농도로 처리한 예비실험 결과, 토끼풀, 돌콩, 칩 등의 잡초에 대한 살초력은 대체로 우수하였지만, 쑥을 포함한 일부 잡초종에 대한 방제효과는 다소 미흡한 것으로 평가되어(자료 미제시), chrysophanic acid를 고농도로 처리했을 때의 살초효과를 확인하고자 수행하였다.

시험처리구 내에 자연발생된 강피, 강아지풀, 알방동사니, 바랭이, 가막사리 등 5종의 잡초는 chrysophanic acid 6,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서 모두 완전방제되었고, 4000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서 바랭이는 100%, 강피와 강아지풀은 80%, 알방동사니와 가막사리는 각각 50% 및 60% 방제되었다. 또한, 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서는 각각 80, 80, 50, 80 및 20%의 살초력을 나타내었다(표 2). 따라서 chrysophanic acid는 자연발생된 잡초 중 강피, 강아지풀, 바랭이 등의 화본과 잡초에 대한 방제활성은 매우 우수하였고, 사초과 잡초인 알방동사니와 국화과 잡초인 가막사리에 대해서는 방제력이 다소 약한 것으로 나타났다(그림 6). 그러나 이와 같은 잡초 종에 따른 방제력 차이는 초종 간 감수성 차이라기보다는 약제처리 당시의 잡초 생육시기와 관련이 있을 것으로 판단된다. 즉, 본 실험기간이 9월 말경으로 자연발생된 잡초 중 대부분이 결실기를 지나 탈립 직전의 상태이었고, 특히 알방동사니는 일부

Table 2. Herbicidal activity of chrysophanic acid with foliar application to several weeds in semi-field condition.

Conc. ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Herbicidal activity(%) ¹⁾				
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Setaria viridis</i>	<i>Cyperus difformis</i>	<i>Digitaria sanguinalis</i>	<i>Bidens tripartita</i>
2,000	80	80	50	80	50
4,000	80	80	50	100	60
6,000	100	100	100	100	100

¹⁾ Herbicidal activity was determined 6 days after treatment by visual injury.

종실의 탈립이 진행되고 있었으며, 가막사리는 자연 고사 직전의 상태인 개체도 있었기 때문에 대상 잡초 개체가 약제에 대한 감수성이 매우 둔감한 시기였기 때문이다. Chrysophanic acid는 잡초 생육 후기에는 상대적으로 방제력이 낮고 생육 초·중기에 탁월한 방제활성을 나타내므로(장 등 2010), 방제력을 최대한 높일 수 있도록 생육 초·중기에 처리하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 또한, chrysophanic acid의 살초효과 증진을 위해 확산성 및 침투성을 증가시킬 수 있는 유제 또는 수화제 형태의 제형기술 개발이 필요할 것으로 사료된다. 현재 공한지, 과수원, 비농경지 등에서 발생하는 잡초에 대한 chrysophanic acid의 비선택적 방제와 관련된 추가연구를 진행하고 있

으며, 이러한 연구 결과를 바탕으로 천연물 제초제로서의 개발 가능성을 평가할 수 있을 것이라 판단된다.

요 약

온실조건에서 제초활성물질로써의 가능성을 확인한 천연물 chrysophanic acid의 간이 포장조건에서의 잡초 방제력과 살초특성을 평가하여 실용화 가능성을 검토하고자 본 연구를 수행하였다. Chrysophanic acid 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서 토끼풀 방제효과는 생육 시기에 관계없이 매우 우수하였으나, 약제처리 2주

Fig. 6. Herbicidal activity of chrysophanic acid with foliar application to several weeds in semi-field condition. Photos were taken 6 days after application.

후에는 재생되었다. Chrysophanic acid의 축에 대한 방제력은 다소 미흡하였으며, 마디풀은 $2,000\mu\text{g mL}^{-1}$ 이상의 농도에서 효과적으로 방제되었으나 동시에 잔디에 대한 약해도 발생하였다. 자연발생된 다양한 잡초에 대한 방제력이 매우 우수하였는데 특히 강피, 강아지풀, 바랭이 등에 대해서는 $6,000\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서 100% 살초력을 보였고, $4,000\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서도 80% 이상의 방제효과가 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 15대 어젠다과제 “화학농약 대체 기술”의 연구비(과제번호 PJ006820) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 김성문, 김희연, 황기환, 전익조. 2008. 긴병꽃풀 (*Glechoma hederacea*) 정유의 제초활성. 한국잡초학회지 28(2):152-160.
- 김희연, 최해진, 유용만, 허수정, 임상현, 김진석, 김성문. 2003. 애기수영(*Rumex acetosella* L.)으로부터 새로운 살초활성물질 chrysophanic acid의 분리. 한국잡초학회지 23(4):301-309.
- 박태선, 권오도, 김창석, 박재읍, 김길웅. 1999. 한국 수도답에서 sulfonylurea 제초제에 대한 물옥잠 출현. 한국잡초학회지(별) 19(2):71-73.
- 박태선, 이인용, 박재읍. 2003. 한국에서 제초제 저항성 잡초 발생현황과 대책. 한국잡초학회지 23(1): 1-10.
- 장현우, 서보람, 황현진, 김재덕, 김진석, 김성문, 전재철, 최정섭. 2010. 천연물질 chrysophanic acid의 제초활성. 한국잡초학회지 30(2):143-152.
- 조광연. 1998. 신농약 효능 검사 및 기반 기술 연구. 과학기술부 선도기술개발 사업 2단계 최종보고서. 901 p.
- 홍연규, 김정남, 이본춘, 황재복, 송석보, 박성태, 전민구, 김인섭. 2006. 곰팡이 유래 미생물제초제 스크레로티니아속균 BWC98-105균주의 클로버 방제효과. 한국잡초학회지 26(4):353-361.
- Bainard, L. D., and M. B. Isman. 2006. Phytotoxicity of clove oil and its primary constituent eugenol and the role of leaf epicuticular wax in the susceptibility to these essential oils. Weed Sci. 54:833-837.
- Bayer, E., K. H. Gugel, K. Hagele, H. Hagenmaier, S. Jessipow, W. A. König and H. Zahner. 1972. Stoffwechselproduct von Mikroorganismen 98. Mitteilung(1) Phosphinothricin und phosphinothryl-alanyl-alanin. Helvetica Chimica Acta. 55:224-239.
- Copping, L., and S. O. Duke. 2007. Review : Natural products that have been used commercially as crop protection agents. Pest Management Sci. 63:524-554.
- Duke, S. O., H. K. Abbas, T. Amagasa and T. Tanaka. 1996. Phytotoxins of microbial origin with potential for use as herbicides, in Copping LG (ed.), Crop Protection Agents from Nature : Natural Production and Analogues, Critical Reviews on Applied Chemistry, Vol. 35. Society for Chemical Industries, Cambridge, UK, pp. 82-113.
- Fukuda, M., Y. Tsujino, T. Fujimori, K. Wakabayashi and P. Böger. 2004. Phytotoxicity activity of middle-chain fatty acids I : effect on cell constituents. Pesticide Biochemistry and Physiol. 80: 143-150.
- Im, S. U., M. W. Park, M. J. Yook and D. S. Kim. 2009. Resistance to ACCase inhibitor cyhalofop-butyl in *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* collected in Seosan, Korea. Kor. J. Weed Sci. 29(2):178-184.
- Lederer, B., T. Fujimori, Y. Tsujino, K. Wakabayashi and P. Böger. 2004. Phytotoxicity activity of middle-chain fatty acids II : peroxidation and

- membrane effects. *Pesticide Biochemistry and Physiol.* 80:151-156.
- Liu, D. L., and L. E. Christians. 1994. Isolation and identification of root-inhibiting compounds from corn gluten hydrolysate on *Lolium perenne*. *Hort. Sci.* 32:243-245.
- Malkomes, H. P. 2006. Microbiological-ecotoxicological soil investigations of two herbicidal fatty acid preparation used with high dosages in weed control. *Umwelwissenschaften Schadstoff-Forschung.* 18:13-20.
- Miller, T. W. 2003. Field testing of natural herbicides in the Pacific Northwest. Abstracts of Papers, 225th ACS National Meeting, New Orleans, LA, 2003 AGRO-064. American Chemical Society, Washington DC.
- Park, T. S., C. K. Kang, J. E. Park, B. I. Ku, H. K. Park, Sita Ram Ghimire, Y. D. Kim and J. K. Ko. 2009. Sulfonylurea-resistant biotype of *Scirpus planiculmis* in reclaimed paddy fields, Korea. *Kor. J. Weed Sci.* 29(2):159-166.
- Prisbylla, M. P., Onisko, B. C., Shribbs, J. M., Adams, D. O., Liu, Y., Ellis, M. K., Hawkes, T. R., and Mutter, L. C. 1993. The novel mechanism of action of the herbicidal triketones. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf.-Weeds* 2:731-738.
- Quarles, W. 1999. Non-toxic weed control in the lawn and garden. *Common Sense Pest Cont.* Quarter Summer. pp. 4-14.
- Riches, C. R., J. C. Caseley, B. E. Valverde and V. M. Down. 1996. Resistance of *Echinochloa colona* to ACCase inhibiting herbicides. *Proc. International Symposium on Weed and Crop Resistance to Herbicides.* EWRS, Cordoba, Spain, pp. 14-16.
- Satoh, A., T. Murakami, H. Takebe, S. Imai and H. Seto. 1993. Industrial development of bialaphos, a herbicide from the metabolites of *Streptomyces hygroscopicus* SF 1293. *Actinomycetologica.* 7: 128-132.
- Secor, J. 1994. Inhibition of barnyardgrass 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. *Plant Physiol.* 106:1429-1433.
- Schultz, A., O. Ort, P. Beyer and H. Kleing. 1993. SC-0051, a 2-benzoylcyclohexane-1,3-dione bleaching herbicide, is a potent inhibitor of the enzyme p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. *FEBS Lett.* 316:162-166.
- Webber, C., M. Harris, J. Sherefiler, M. Durnova and C. Christopher. 2005. Vinegar as a burn-down herbicide. *Proc. 24th Ann. Hortic. Indust. Show, Stillwater, Oklahoma, USA.* pp. 168-172.
- Young, S. L. 2004. Natural product herbicides for control of annual vegetation along roadsides. *Weed Tech.* 18:580-587.